

Notch 설계에 따른 매입형영구자석형 전동기의 진동특성 고찰

이 승 훈*, 안 호 진*, 강 규 홍**, 장 기 봉*, 김 규 탁*
 *창원대학교 전기공학과, **젬텍

The study on the vibration characteristic of IPM motor according to the notch design

Seung-Hoon Lee*, Ho-Jin Ahn*, Gyu-Hong Kang**, Ki-Bong Jang*, Gyu-Tak Kim*
 *Department of Electrical Engineering, ChangwonNationalUniversity, **Gem Tech. CO. LTD

Abstract - This paper presents the vibration characteristic of interior type permanent magnet (IPM) motor according to rotor design. In the design methods, the optimal notchs are put on the rotor pole face, which have an effect on variation of permanent magnet (PM) shape or residual flux density of PM. Through the space harmonics field analysis, the positions of notch are found and the optimal shapes of notch are decided by using Finite Element Method (FEM). The validity of the proposed method is confirmed with experiments. Therefore, the vibration, starting current and efficiency of IPM is measured by experiment.

고정자 외경	100[mm]
회전자 외경	54[mm]
영구자석의 자속밀도	1.27[T]
극 수	6
슬롯 수	9
공극길이	1[mm]
출력	750[W]
슬롯 개구 폭	6[°]

1. 서 론

영구 자석을 회전자 내에 삽입 하는 매입형 전동기 (Interior Permanent manet Motor; IPM)는 고효율 운전 특성에 적합하며 고속 회전 시 영구자석이 회전자 코어 내부에 있기 때문에 원심력에 의한 영구자석의 비산 현상이 일어나지 않는다. 이러한 구조적인 장점과 d축과 q축사이의 인덕턴스 차를 가지는 돌극성에 의해 릴럭턴스 토크가 발생하여 표면부착형 전동기에 비하여 발생토크가 크며, 고속 운전이 가능한 이점을 가지고 있다[1].

그러나 IPM은 구조적으로 회전자 표면의 자속 분포가 균일하지 않기 때문에 자로의 자속 분포가 균일한 전동기에 비하여 코깅 토크가 비교적 많이 발생한다. 이러한 코깅 토크는 전동기 출력에 고조파 성분으로 작용하며 진동과 소음의 원인이 된다.

영구자석을 계자로 사용하는 전동기의 코깅 토크를 저감 하기 위하여 영구자석의 자화 영역을 조절하거나 영구자석 형상, 배치를 변화시키고 고정자 치의 형상을 변화시키는 방법들이 발표 되어 왔다[2][3]. 그러나 IPM과 같이 자석이 회전자 내부에 위치하는 매입형 전동기에서는 영구자석의 형상이나 배치를 변화시키는 방법을 적용하기 어렵다.

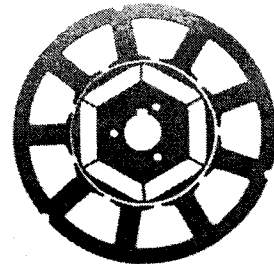
본 논문에서는 코깅 토크를 저감시키기 위하여 IPM의 회전자 표면의 형상에 노치 설계 방법을 적용하였다[4]. 코깅 토크 및 진동 실험을 수행하여 기본 모델과 노치 모델의 실험 결과를 비교하여 노치 설계에 따른 코깅 토크 저감과 이에 따른 진동 특성을 고찰하였다.

2. 본 론

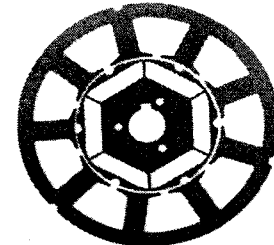
2.1 회전자 노치 설계

코깅 토크를 저감하기 위하여 푸리에 급수를 이용하여 코깅 토크 함수 및 노치에 의한 토크 함수를 구하고, 두

표 1. 해석모델 사양



(a) 기본 모델



(b) 노치 모델

그림 1. 회전자와 고정자 형상

함수를 합성하여 노치 설계 변수를 결정하였다. 그리고 유한요소 해석법을 이용하여 최적화 모델의 변수를 결정하여 제작하였다.

표 1은 해석 모델의 사양을 나타내며, 그림 1은 기본 모델과 최적화 된 노치 모델의 고정자 및 회전자를 나타낸다.

2.2 코깅 토크 해석 및 실험

그림 2는 유한요소 해석법을 이용하여 기본 모델과 노치 모델의 코깅 토크 해석 결과이다. 그림 3은 코깅 토크의 실험 결과이다. 해석 결과 및 실험 결과에서 노치

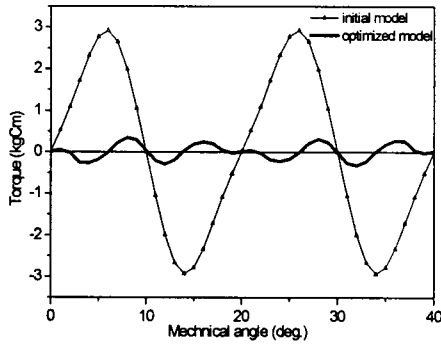


그림 2. 코깅 토크 해석 결과

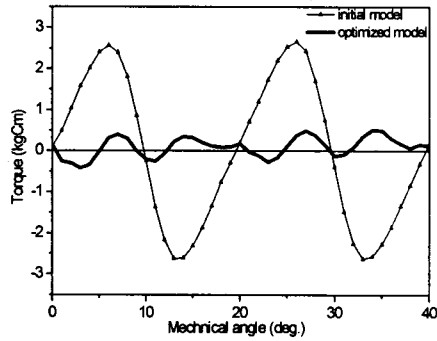


그림 3. 코깅 토크 실험 결과

를 설계한 모델의 코깅 토크가 기본 모델에 비하여 80[%]이상 저감되었음을 확인 할 수 있다.

2.3 진동 실험 결과 및 고찰

코깅 토크의 해석 및 실험을 통하여 노치를 설계함에 따라 코깅 토크가 현저히 저감되었음을 확인하였다. 코깅 토크의 저감에 따른 진동 특성을 확인하기 위하여 두 모델의 고유 진동 및 운전 주파수에 따른 진동을 측정하였다. 편심 회전에 의한 영향을 줄이기 위하여 회전자에 밸런싱을 시행하였다.

임팩트 해머를 이용하여 각각의 모델에 충격을 주어 고유 진동을 측정하였으며, 고유 진동 및 운전 시 발생하는 진동의 측정은 가속도 센서를 이용하였다.

그림 4는 진동 측정 장비를 나타낸다.

그림 5의 (a)와 (b)는 기본 모델과 노치 모델의 고유 진동 실험 결과를 나타낸다. 기본 모델의 고유 진동은 300[Hz]와 900[Hz]에서 크게 나타났으며, 노치 모델의 고유 진동은 300[Hz]와 1200[Hz]에서 크게 나타났다.

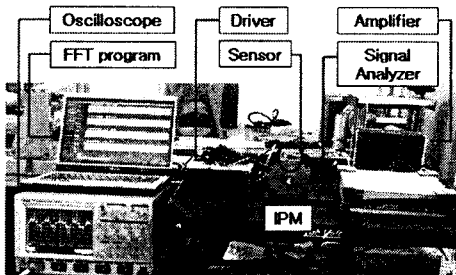
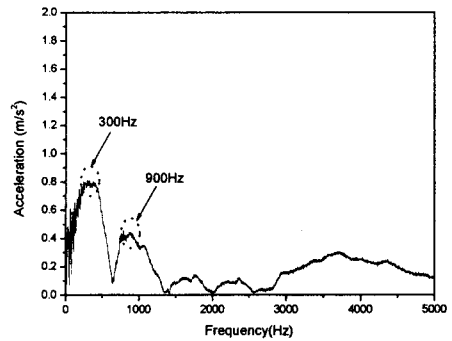
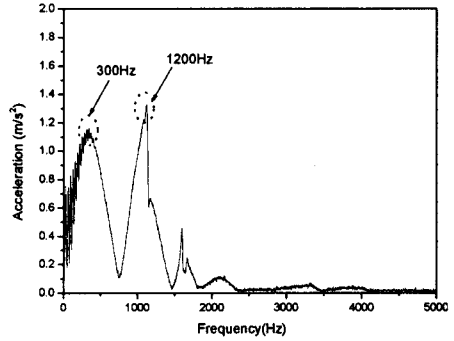


그림 4. 진동 측정 장비

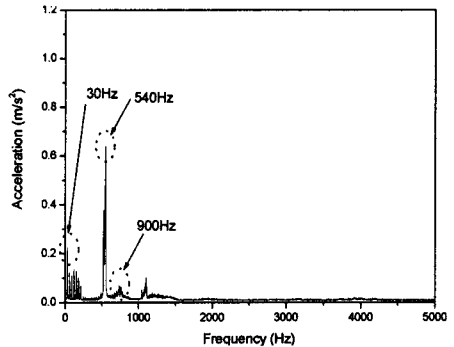


(a) 기본 모델

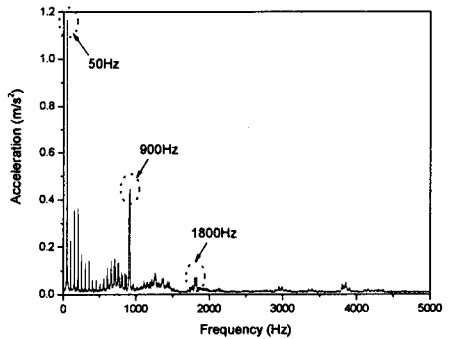


(b) 노치 모델

그림 5. 고유 진동 실험 결과

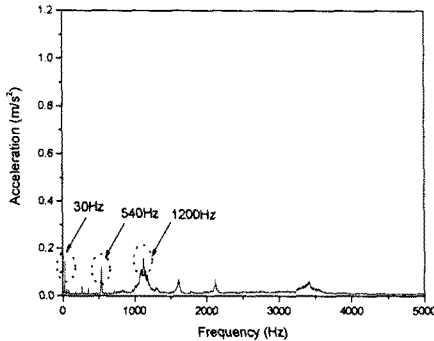


(a) 1800[rpm](30[Hz])

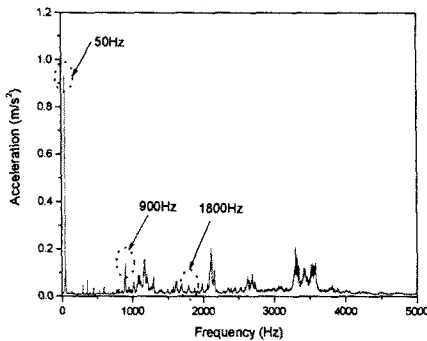


(b) 3000[rpm](50[Hz])

그림 6. 기본 모델의 운전 주파수에 따른 진동 실험



(a) 1800[rpm](30[Hz])



(b) 3000[rpm](50[Hz])

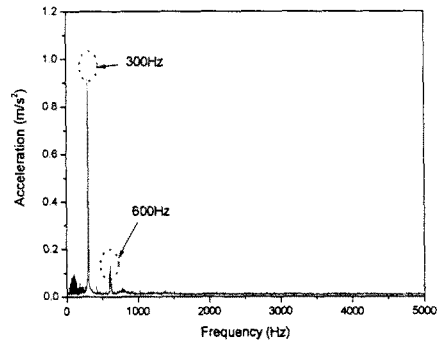
그림 7. 노치 모델의 운전 주파수에 따른 진동 실험

그림 6과 7은 기본 모델과 노치 모델의 운전 주파수에 따른 진동 특성 실험 결과를 나타낸다.

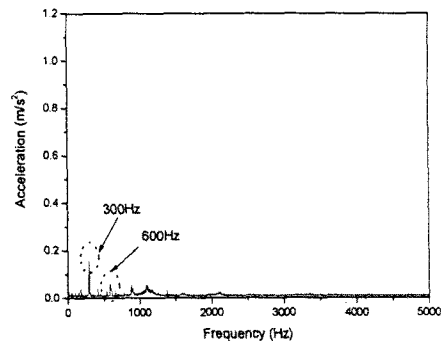
기본 모델의 코깅 토크는 1회전에 18번 발생하며 커뮤테이션 토크 또한 1회전에 18번 발생한다. 따라서 코깅 토크에 의한 진동과 커뮤테이션 토크에 의한 진동의 주파수는 운전 주파수의 18배가 된다. 두 개의 진동이 같은 주파수에서 발생 할 경우 진동은 공진하게 된다. 그림 6(a)에서 운전 주파수의 18배 되는 540[Hz]주파수 대역에서 코깅 토크에 의한 진동과 커뮤테이션 토크에 의한 진동의 공진으로 인하여 큰 진동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그림 6(b)에서 900[Hz] 대역에서는 코깅 토크에 의한 진동과 커뮤테이션 토크에 의한 진동 그리고 고유 진동 또한 공진하여 큰 진동이 발생하였다.

노치 모델의 코깅 토크는 기본 모델의 코깅 토크에 비하여 크기가 80[%]이상 줄었고, 주기 또한 2배가 되었다. 따라서 노치 모델의 코깅 토크에 의한 진동은 운전 주파수의 36배 되는 주파수 대역에서 발생하게 된다. 기본 모델의 경우 운전 주파수의 18배 되는 주파수 대역에서 코깅 토크에 의한 진동과 커뮤테이션 토크에 의한 진동이 공진하여 큰 진동이 발생하였으나 노치 모델의 경우 코깅 토크에 의한 주파수가 1080[Hz]에서 발생하므로 커뮤테이션 토크와의 공진을 피하게 되어 큰 진동이 발생하지 않았다. 1200[Hz]에서 발생하는 진동은 고유 진동이다. 그림 7(b)에서 역시 코깅 토크와 커뮤테이션 토크에 의한 진동의 공진을 피함으로써 진동이 저감된 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 16.6[Hz]의 운전 주파수로 운전 할 때의 진동 특성 실험 결과를 나타낸다. 그림 8(a)의 기본 모델의 경우 300[Hz]대역에서 그림 8(b)의 노치 모델 보다 상당히 큰 진동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 300[Hz]에서 크게 나타난 기본 모델의 고유 진동과 코깅 토크에 의한 진동, 커뮤테이션 토크에 의한 진동이 공진하였기 때문이다. 공진에 의한 진동의 크기는 각 진동의 크기를 더한 값보다 더 크게 나타나므로 기본



(a) 기본 모델



(a) 노치 모델

그림 8. 16.6[Hz]운전 시의 진동 실험 결과

모델의 300[Hz]대역에서 아주 큰 진동이 발생하였다.

기본 모델과 노치 모델의 진동 실험을 통하여 노치를 설계함으로써 코깅 토크의 크기가 줄어드는 것 외에 코깅 토크의 주기가 바뀌게 됨으로 커뮤테이션 토크와의 공진에 의한 진동 발생을 피할 수 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 매입형 영구자석 전동기의 노치 설계에 따른 진동 특성을 고찰하였다. 기본 모델과 노치 모델의 진동 실험을 통하여 노치를 설계함으로써 코깅 토크의 크기를 줄일 뿐만 아니라 코깅 토크의 주기 또한 바뀌게 되어 커뮤테이션 토크에 의한 진동과의 공진을 피하여 발생 진동이 저감 되는 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Gyu-Hong Kang, Jung-Pyo Hong, Gyu-Tak Kim, and Jung-Woo Park, "Improved Paramater Modeling of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Finit Element Analysis", *IEEE Trans.on Magnetics*, vol. 36, No. 4, pp.1867-1870, July, 2000.
- [2] Chang Seop Koh, and Jin-Soo Seol, "New Cogging-Torque Reduction Method for Brushless Permanent-Magnet Motors", *IEEE Trans.on Magnetics*, vol. 39, No.6, pp.3503-3506, Nov. 2003.
- [3] A. Kioumarsi, ed. "Mitigation of Torque Ripple in Interior Permanent Magnet Motors by Optimal Shape Design", *IEEE Trans. on Magnetics*, vol.42, No.11, pp.3706-3711, Nov. 2005.
- [4] Gyu-Hong Kang, Young-Dae Son, Gyu-Tak Kim, Jin Hur, "A Novel Cogging Torque Reduction Method for Interior Type Permanent Magnet Motor " *IEEE Trans. On Industry applications conference*, 42nd IAS, pp. 119-125, Sep. 2007